



21 Aktenzeichen: 100 35 446.7
22 Anmeldetag: 19. 7. 2000
43 Offenlegungstag: 5. 4. 2001

66 Innere Priorität:
199 33 872. 8 23. 07. 1999

71 Anmelder:
Heidelberg Instruments Mikrotechnik GmbH, 69126
Heidelberg, DE

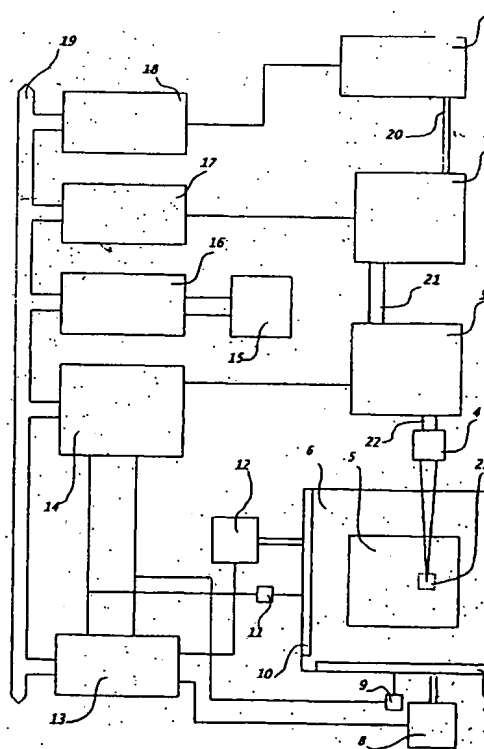
74 Vertreter:
Rechts- und Patentanwälte Reble & Klose, 68165
Mannheim

72 Erfinder:
Vogler, Sven, Dr., 69126 Heidelberg, DE; Kaplan,
Roland, 69126 Heidelberg, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Verfahren zur Erzeugung von Mikrobohrungen

57 Das Verfahren dient zur Erzeugung von Mikrobohrungen in einem mehrlagigen Substrat (5), insbesondere einem Leiterplattensubstrat, welches mittels eines XY-Tisches (6) unter einer Schreiboptik (4) bewegt und mittels welcher ein Spot einer Lichtquelle (1), insbesondere eines Lasers, erzeugt wird. Die Bearbeitungszeit mittels des Verfahrens soll reduziert werden und bevorzugt sollen Materialvorteile des Substrats kompensiert werden. Hierzu wird vorgeschlagen, daß gleichzeitig mit den Bearbeitungspositionen entsprechend die Position des Spots innerhalb eines Arbeitsfeldes durch elektronisch gesteuerte, bewegliche Spiegel verändert wird, daß insbesondere mittels eines Interferometers (9, 11) die Bestimmung der Substratposition durchgeführt wird und daß mittels eines geeignet ausgerüsteten Rechnersystems (16) die der Substratposition entsprechenden Signale zu einer Ist-Position des Tischsystems verarbeitet werden, wobei dem Rechnersystem (16) vorzugsweise sämtliche Bohrlochkoordinaten sowie Zusatzinformationen, wie Bohrlochdurchmesser, insbesondere in Tabellenform, zur Verfügung gestellt werden.



Beschreibung

Das Licht eines gepulsten Lasers, z. B. UV-Licht eines Frequenzvervielfachten Nd-YAG Lasers oder Infrarot-Licht eines CO₂-Lasers, kann zur Erzeugung von Bohrungen in Materialien verwendet werden, welche zur Herstellung von elektronischen Leiterplatten dienen.

Die Parameter der verwendeten Lichtquelle und der benutzten Optik, z. B. Laser-Leistung, Pulsdauer, Spotgröße sind allgemein bekannt. Gegenwärtige Bearbeitungs-Systeme bestehen grundsätzlich aus einem XY-Tisch, welcher das zu bearbeitende Substrat unter einem, den optischen Anforderungen entsprechenden, Optikaufbau positioniert. Der Optikaufbau erfüllt zwei Aufgaben: 1. Erzeugung eines intensiven gepulsten Laser-Spots zur Bearbeitung des Substrates an der geforderten Position, 2. Erkennung vorgegebener Substrat-Marken, aus vorausgegangen Produktionschritten, zur Bestimmung der Position. Dieser Schritt erfordert ein Bildverarbeitungssystem bestehend aus elektronischer Kamera und einem geeignet ausgerüstetem Computersystem, welches aus den Kamerasignalen die gewünschte Positionsinformation ermittelt. Insgesamt wird die Genauigkeit der Lage der Bohrungen im Substrat, relativ zu vorgegebenen Marken, durch die Positionsgenauigkeit des Tischsystems, der Spot-Positioniergenauigkeit des optischen Strahlformung-Systems sowie des optischen Meßsystems bestimmt. Bei modernen Leiterplatten, aufgebaut aus mehreren Lagen von Leitern und Isolationsmaterial, treten während der einzelnen Produktionsschritten Materialverzüge auf, so daß es notwendig ist die Bohrungsmuster der individuellen Verzerrung des Grundsubstrates anzupassen. Hierzu ist wiederum eine sehr hohe Meß- sowie Positioniergenauigkeit von Tischsystem und Strahl-optik erforderlich. Aus wirtschaftlichen Gründen ist es unbedingt notwendig, die Bearbeitungszeit insgesamt als auch für jede zu erstellende Bohrung so gering wie möglich zu halten. Je nach Anwendung bzw. Technologie der Leiterplatte sind Bohrungsdurchmesser von wenigen 1/10 mm bis herab zu 50 µm einzuhalten. Da der Spotdurchmesser des Laserstrahls, bei typischen UV-Laserbearbeitungssystemen ca. 25 µm beträgt, müssen abweichende Bohrungsdurchmesser durch Aneinanderreihung von einzelnen Bearbeitungsschritten, im folgenden Schüsse genannt, erstellt werden. Der Materialabtrag durch mehrfaches schießen entlang einer passend gewählten, meist spiralförmigen, Bahn nennt man "nibbling". Obwohl dieses Verfahren erlaubt beliebige Bohrungsdurchmesser zu erstellen, weist es den Nachteil auf, sehr zeitaufwendig zu sein. Da der Energiebedarf pro Schuß stark vom zu bearbeitenden Material abhängt läßt sich die Bearbeitungsstrategie optimieren. Steht genügend Energie pro Laserpuls zur Verfügung erreicht man eine erhebliche Durchsatzsteigerung wenn statt des "nibbling"-Verfahrens ein geeigneter, größerer, Spotdurchmesser gewählt wird, und nur durch einen Schuß der erforderliche Materialabtrag für den gewünschten Bohrungsdurchmesser bewerkstelligt wird. Die Grundlage der hier neu vorgestellten Methode beruht auf der Möglichkeit den Spotdurchmesser des zur Bearbeitung verwendeten Laserstrahls in sehr kurzer Zeit zu variieren und so Bohrbilder unterschiedlicher Durchmesser in einem Arbeitsgang zu erstellen.

Die Erfindung gemäß Anspruch 1 wird im folgenden anhand der Fig. 1 10 der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Im einzelnen zeigen

Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung nach der Erfindung;

Fig. 2 ein Schema des Strahlenganges;

Fig. 3 ein Schema der Bildverarbeitungsbaugruppe;

Fig. 4 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der

Fig. 1 verwendeten steuerbaren Strahlaufweitung unter Verwendung von Galvanometerspiegeln;

Fig. 5 eine Prinzipdarstellung der stufenlos verstellbaren Strahlaufweitung auf der Basis aktiver Spiegelemente;

Fig. 6 eine Prinzipdarstellung des Strahlenganges zur Vermessung und Regelung der Strahlaufweitung mittels aktiver Spiegel;

Fig. 7 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig. 1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch piezotriebene verstellbare Spiegel;

Fig. 8 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig. 1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch Akusto-optische Deflektoren;

Fig. 9 eine Prinzipdarstellung des in der Vorrichtung der Fig. 1 verwendeten variablen Strahlpositionierung durch galvanometergetriebene verstellbare Spiegel;

Fig. 10 eine Prinzipdarstellung der Steuerung der Ablenkeinheit.

In Fig. 1 ist mit 1 ein als Lichtquelle verwendeter Laser bezeichnet, beispielsweise ein Frequenzverdrehfacher Nd-YAG Laser. Der Laser emittiert einen kurzen sehr kräftigen Lichtimpuls, Dauer ca. 10–20 ns, Energie ca. 10⁻⁴ Joule, sobald ein Startsignal vom Steuerrechner 16 bei der Laserelektronik 18 eintrifft. Das vom Laser emittierte Licht 20 tritt in die variable Strahlaufweitungsoptik 2 ein. Der Durchmesser des Ausgangsstrahl 21 variiert entsprechend der über die Steuereinheit 17 vom Rechner 16 eingestellte Aufweitungsverhältnis, Details in Fig. 4, 5 bzw. Fig. 6. Das Licht welches in die Strahlablenkeinheit 3 eintritt wird entsprechend der Steuersignale der Kontrolleinheit 14 über zwei Ablenkeinheiten geführt, Fig. 7, 8 und 9, so daß der austretende Strahl 22 unter veränderbarem Einfallswinkel, separat steuerbar in X- und Y-Richtung, in das Objektiv 4 tritt. Das Objektiv bildet das als ebene Welle einfallende Licht in einem Lichtfleck, im folgenden Spot genannt, auf dem zu bearbeitenden Substrat 5 ab. Die XY-Position an der der Spot das Substrat 5 innerhalb der Schreibfensters 23 trifft, hängt vom Einfallswinkel in das Objektiv und der Brennweite des Objektivs ab, Fig. 2. Bei kleinen Ablenkswinkeln, Detail 24 Fig. 2, $\alpha < 8$ mrad kann eine Auslenkung, Detail 25 Fig. 2, und damit ein Schreibfenster, gemäß

$$\delta x = \alpha \cdot F \quad [1]$$

von ca. 2–4 mm erreicht werden. Der Durchmesser, Detail 27 Fig. 2, des Spots auf dem Substrat hängt vom Durchmesser, Detail 26 Fig. 2, des einfallenden Lichtstrahls ab,

$$d = 1.21 \cdot \lambda \cdot F/D. \quad [2]$$

Wobei

δx – Spotposition relative zum Schreibfenster

α – Einfallswinkel

F – Brennweite des Objektivs

d – Durchmesser des Spots

λ – Wellenlänge des verwendeten Lichtes

D – Durchmesser des einfallenden Strahls.

Bei geringer Strahlaufweitung erhält man einen großen Spot auf dem Substrat, bei großer Aufweitung wird das Licht stärker gebündelt und man erhält einen kleineren Spotdurchmesser und damit kleinere Bohrungsdurchmesser im Substrat.

Das zu bearbeitende Substrat 5 wird auf dem XY-Tisch durch geeignete Maßnahmen, z. B. Vacuumansaugung oder Klemmvorrichtung, festgehalten. Auf gleicher Höhe wie das Substrat befinden sich auf dem XY-Tisch zwei Interferometerspiegel, X-Spiegel 7 Y-Spiegel 10. Mit Hilfe der Interferometer-Meßköpfe, X-Meßkopf 9, Y-Meßkopf 11, wird die

momentane Position des XY-Tisches mit hoher Auflösung und Geschwindigkeit gemessen. Die Signale des Interferometersystems werden sowohl der Tischpositionierelektronik 13 als auch der Strahlablenksteuerung 14 zugeführt. Die Positioniereinheit 13 steuert die Antriebseinheiten des Tisches so daß die vom Rechner 16 vorgegebene Bahn bzw. Position erreicht wird. Abschließend sei die Bildaufnahme und Verarbeitungseinheit 15 genannt. Die Bildaufnahmeeinheit Fig. 3, entspricht der eines Auflichtmikroskops, bestehend aus einer Lichtquelle 29, Beleuchtungsstrahlengang 30, Objektiv 31, sowie der elektronischen Kamera 32 und der davor angeordneten Feldlinse 33. Die Signale der Kamera werden dem lokalen Bildverarbeitungsrechner 34 zugeführt. Der Strahlengang der Bildaufnahme ist parallel zum Bearbeitungsstrahlengang angeordnet, so daß durch Verfahren des XY-Tisches das gesamte Substrat unter das Kameraobjektiv 31 gebracht werden kann und somit zu Vermessungszwecken dem Bildbearbeitungsrechner zur Verfügung steht.

Die Baugruppen 13-18 stehen untereinander über ein heterogenes Bussystem 19 in Verbindung. Die Bildverarbeitungseinheit 15 und die Steuereinheit 14 der Strahlablenkung stehen über einen parallelen Datenbus mit dem zentralen Steuerrechner 16 in Verbindung, da größere Datenmengen ausgetauscht werden sollen.

Beschreibung des Ablaufs des Bearbeitungsvorganges gemäß Anspruch 2

Das Substrat 5, welches auf dem XY-Tisch 6 fixiert ist, wird so unter dem Schreiboptik 4 positioniert, daß die Bohrlochkoordinaten innerhalb des Schreibfensters 23 liegen. Hat der XY-Tisch 6 die Koordinate X_{Tisch} , Y_{Tisch} angefahren und besitzt die Strahlablenkeinheit 3 in Verbindung mit dem Objektiv 4 entsprechend Gleichung [2] einen Scanbereich von δx , δy so lassen sich alle Bohrungen der Koordinaten im Bereich

$$X_{Tisch} - \delta x < X_{Bohrung} < X_{Tisch} + \delta x \quad [3]$$

$$Y_{Tisch} - \delta y < Y_{Bohrung} < Y_{Tisch} + \delta y$$

bearbeiten. Die Ansteuersignale für die Strahlablenkung 3 werden vom Rechner 16 aus Bohrlochskollkoordinate und Tischkoordinate berechnet. Beide Koordinatenwerte liegen in den Grundeinheiten des Interferometers, im folgenden Ticks genannt, vor. Die Größe dieser Ticks hängt vom Arbeitsprinzip des Interferometers und der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab. Typischerweise kommt ein HeNe-Laser, welcher Licht mit einer Wellenlänge von ca. $\lambda_{He-Ne} \approx 633$ nm emittiert, zum Einsatz. Daraus ergibt sich z. B. eine Tick-Größe von ca. $\lambda_{HeNe}/16 \approx 40$ nm. Nach dem Positionierungsvorgang befindet sich der XY-Tisch an den Koordinaten

$$X_{Tisch \text{ ist}} = X_{Tisch \text{ soll}} + \epsilon_x \quad [4]$$

$$Y_{Tisch \text{ ist}} = Y_{Tisch \text{ soll}} + \epsilon_y$$

wobei ϵ_x und ϵ_y den statischen Positionierfehler des Tischsystems bezeichnen.

$$X_{Ablenk} = X_{Bohrung} - X_{Tisch \text{ soll}} - \epsilon_x \quad [5]$$

$$Y_{Ablenk} = Y_{Bohrung} - Y_{Tisch \text{ soll}} - \epsilon_y$$

Die berechneten Werte, X_{Ablenk} und Y_{Ablenk} , kompensieren daher den Positionsfehler des Tischsystems. Das Ergebnis

$$X_{Ablenk} = X_{Bohrung} - X_{Tisch \text{ ist}} \quad [6]$$

$$Y_{Ablenk} = Y_{Bohrung} - Y_{Tisch \text{ ist}}$$

liegt zunächst als ganzzahliger Wert in Tick-Einheiten vor. Zur Ansteuerung der Strahlablenkeinheit wird jedoch im Allgemeinen eine analoge Spannung, z. B. im Bereich von 0-10 Volt, benötigt, welche aus einer vom Rechner zu ladenden Digital-Analog-Wandler Einheit gewonnen wird. Es liegt eine feste Zuordnung von Ausgangsspannung dieser Baugruppe und dem eingeschriebenen Wert vor. Die berechneten Werte für die Strahlablenkung müssen daher umskaliert werden. Diese Skalierungsoperation erfordert zusätzliche Rechenkapazität wenn sie programmgesteuert im Rechner abläuft. Kommt ein nichtlinearer Zusammenhang zwischen Ansteuerspannung der Strahlablenkeinheit und der bewirkten Ablenkung hinzu, lassen sich die benötigten Rechenoperationen nur durch einen sehr schnellen, und daher unwirtschaftlichen, Rechner bewerkstelligen. Aus diesem Grund, Anspruch 5, wird die Skalierungsoperation durch eine festverdrahtete Elektronikbaugruppe innerhalb der Steuerung der Ablenkeinheit 14 durchgeführt, Fig. 10. In Fig. 10 sind die Grundbaugruppen zur Ansteuerung eines Strahlablenkkanals, X und Y sind identisch aufgebaut, dargestellt. In einem einmalig durchzuführenden Vorbereitungsschritt wird eine Skalierungstabelle in den Speicher 73 geladen. Der Rechner schreibt hierzu die gewünschte Adresse in den als Eingangsregister arbeitenden Vor-/Rückwärtszähler 72 und die entsprechenden Daten in die Zugriffsteuerung 75, in dieser Phase ist der D/A-Wandler 74 deaktiviert. Um die Skalierungsoperationen durchzuführen legt der Rechner die berechneten X_{Ablenk} bzw. Y_{Ablenk} Werte an den Positionszähler. Dessen Ausgänge adressieren den Speicher 73. Der aus dem Speicher ausgelesene Wert wird an den Digital/Analog-Wandler 74 weitergegeben und bestimmt damit die Ansteuerspannung für die Strahlablenkeinheit 3. Für jeden möglichen Eingangswert muß im Speicher 73 ein skaliertes Ausgabewert vorgehalten werden. Der Wertebereich der Ablenkwerte aus Gleichung [6] wird durch den optisch möglichen Ablenkbereich begrenzt. Geht man von einer Adressbreite von 20 bit am Speicher 73 aus, lassen sich $2^{20} \approx 1000000$ Werte, ablegen. Bei einer Tickgröße von 40 nm ergibt sich ein maximaler Ablenkbereich von ca. 40 mm. Da sich der Adressbereich leicht erweitern läßt, sind Arbeitsbereiche bis über 100 mm möglich und werden praktisch nur von dem optisch möglichen begrenzt. Bei großflächigen Substraten ergebe sich bei oben beschriebenen Methode ein geringen Durchsatz da das Tischsystem pro Bearbeitungsfeld einen Positionierungsvorgang durchführen muß. Um dies zu vermeiden kann das Tischsystem kontinuierliche Bewegungen durchführen, wobei der nun dynamische Fehler ausgeglichen werden muß, Anspruch 3. Bei einer kontinuierliche Tischbewegung muß der Laserspot der Substratbewegung nachgeführt werden um mehrfach die gleiche Substratstelle bearbeiten zu können. Bewegt sich das Tischsystem mit den Geschwindigkeiten v_x und v_y , so muß der Laserstrahl entsprechend

$$X_{Ablenk}(t) = X_{Bohrung} - X_{Tisch \text{ ist}, T0} - v_x \cdot t \quad [7]$$

$$Y_{Ablenk}(t) = Y_{Bohrung} - Y_{Tisch \text{ ist}, T0} - v_y \cdot t$$

zeitabhängig abgelenkt, nachgeführt, werden. Die Ablenkwerte setzen sich aus einem statischen Teil, nur abhängig von der Koordinate der zu erzeugenden Bohrung und einer wählbaren Tischkoordinate, sowie einem von der momentanen Tischgeschwindigkeit bestimmten Komponente zusammen. In dieser Betriebsart bewegt sich der Tisch 6 und mit ihm das Substrat 5 mit einer, nicht unbedingt konstanten, Geschwindigkeit z. B. entlang der Y-Achse. Der Rechner 16

berechnet die benötigten Ablenkwerte und vergleicht diese mit den maximal möglichen Werten. Sobald diese Werte klein genug sind, d. h. die Bohrlochkoordinaten im Bearbeitungsfenster erscheinen, wird der statische Teil aus Gl. 7

$$X_{\text{Start}} = X_{\text{Bohrung}} - X_{\text{Tisch ist, T0}} \quad [8]$$

$$Y_{\text{Start}} = Y_{\text{Bohrung}} - Y_{\text{Tisch ist, T0}}$$

berechnet und in den Zähler 72 geladen. Der dynamische Fehler, $v \cdot t$, wird durch zählen der Interferometersignale im Zähler 72 kompensiert. Bei einer Tischgeschwindigkeit von z. B. 100 mm/s in Y-Richtung und einer Interferometerauflösung, Tickgröße, von ca. 40 nm, werden pro Sekunde ca. $2,5 \cdot 10^6$ Zählsignale, bei einem mittlerem zeitlichen Abstand ca. 400 ns, vom Interferometer 11 an den Y-Zähler 72 geliefert. Der Ausgang dieses Zählers repräsentiert damit den sich ständig ändernden Ablenkwert für die Y-Achse und wird gemäß Anspruch 5 umskaliert und zur Ansteuerung der Strahlableitung 3 verwendet. Da für beide Bewegungsachsen identisch aufgebaute Ablenksteuerungen, nach Fig. 10, vorhanden sind ist die vektorielle Bewegungsrichtung nicht eingeschränkt. Da der Zähler 72, identisch für X- und Y-Richtung, als Vor-/Rückwärtszähler ausgelegt ist kann sowohl ein positiver als auch ein negativer dynamischer Fehler kompensiert werden. Die Bewegungsart des Tischsystems ist damit frei wählbar und kann zur Durchsatzsteigerung optimiert werden.

In der bisherigen Beschreibung der Erfindung wurde davon ausgegangen, daß die Bohrlochkoordinaten feste Werte darstellen. Da insbesondere Mehrlagen-Substrate während der Herstellung verschiedenste Prozessschritte durchlaufen müssen ist deren Maßhaltigkeit nur bedingt gegeben. Da die Position der Bohrungen unterschiedlicher Lagen aufeinander abgestimmt sind dürfen vorgegebene Positionstoleranzen nicht überschritten werden. Dies würde jedoch erfolgen, wenn die Bohrlochkoordinaten starr, d. h. unabhängig vom aktuell zu bearbeitenden Substrat, festgehalten würden. Wäre das Materialverhalten vollständig bekannt und die Prozessschritte keinen Schwankungen unterworfen so könnten die Bohrlochkoordinaten im Voraus korrigiert werden. Da jedoch Prozeß- und Materialparameter Schwankungen unterworfen sind ist eine Vorkorrektur nur für entsprechend kleine Substrate sinnvoll. Da die Restfehler trotz Vorkorrektur im allgemeinen proportional zur Substratgröße sind ist ein solches Verfahren für große Substrate nicht akzeptabel. Durch eine dynamische Korrektur der Substratverzerrungen, Anspruch 4, läßt sich diese Einschränkung überwinden. Erster Schritt in diesem neuen Verfahren ist die Vermessung des Substrates. Auf dem Substrat müssen Markierungen, Alignmentmarken, vorhanden sein deren Sollkoordinaten bekannt sind. Dies Marken wurden z. B. im vorausgehenden Bearbeitungsschritt erstellt und müssen ggf. freigelegt werden um optisch mittels des Kamerasystems 15 erfassbar zu sein. Je nach Anzahl der zur Verfügung stehenden Marken lassen sich unterschiedliche Fehler bzw. Verzerrungen erfassen und somit kompensieren. Die Vermessung des Substrates bedeutet zunächst die Bestimmung der absoluten Koordinaten der Marken in Bezug auf das Tischkoordinatensystem. Hierzu positioniert der Tisch 6 das Substrat 5 derart, daß die Alignmentmarke im Bildfeld des Kamerasystems 15 erscheint. Der zugehörige Bildverarbeitungsrechner ermittelt die Koordinate relative zum Mittelpunkt des Bildfeldes. Die absoluten Koordinaten ergeben sich aus der Addition von Bildschirmkoordinaten, d. h. skallerter Bildpunktabstand, und Tischkoordinaten gemessen über das Interferometermeßköpfe 9 und 11. Durch vermessen einer Marke wird es möglich das benutzte Tischkoordinatensystem

so zu verschieben, daß es deckungsgleich wird zu einem gedachten Koordinatensystem auf dem Substrat. Diese Deckung ist, auf Grund der Substratverzerrung, allerdings nur für die eine vermessene Marke gewährleistet. Durch vermessen einer weiteren Marke und Vergleich mit deren Sollposition wird eine mögliche Verdrehung des Substrates

$$\varphi = (Y_{\text{istMark1}} - Y_{\text{istMark2}}) / (X_{\text{istMark1}} - X_{\text{istMark2}}) \quad [9]$$

zur Bewegungsrichtung des Tisches sowie ein Längenverzerrung

$$\xi_x = (X_{\text{istMark1}} - X_{\text{istMark2}}) / (X_{\text{sollMark1}} - X_{\text{sollMark2}}) \quad [10]$$

in einer Achse erfaßt. In Gleichung 9 u. 10 wird davon ausgegangen, daß sich die beiden Marken auf gleicher Höhe, d. h. gleicher Y-Koordinate, und am linken und rechten Rand des Substrates befinden. Dies muß im allgemeinen nicht der Fall sein und verändert dieses Verfahren nicht, es müssen jedoch die dann bekannten Versätze in X- wie in Y-Richtung in den Gleichungen einfließen. Stehen weiter Alignmentmarken zur Verfügung dient deren Vermessung zur Ermittlung der Längenverzerrung in Y-Richtung, analog zu Gl. 10, bzw. durch Mittelwerthildung zur Verbesserung der Meßgenauigkeit. Nach dem der erste Schritt, Parametrisierung des Auflagefehlers und Erfassung der Substratverzerrung, abgeschlossen ist erfolgt die Kompensation dieser Effekte während des Bearbeitungsvorganges. Hierbei ist, insbesondere für Substrate, welche Mehrfachnutzen enthalten, zwischen globalen Auflagefehlern und lokale, d. h. für jedes Nutzen getrennt bestimmbarer Parameter zur unterscheiden. Die globalen Auflagefehler werden durch Translation und Rotation des Tischkoordinatensystems kompensiert. Zur Kompensation der lokalen Verzerrungseffekte und ggf. der aufgetretenen Rotation bzw. Translation des Einzelnutzen relative zum Gesamtsubstrat müssen die Bohrlochkoordinaten für jedes Nutzen separat transformiert werden.

$$X_{\text{Bohrung}} = G_{xx} \cdot X_{\text{Design}} + G_{xy} \cdot Y_{\text{Design}} + G_{xz}$$

$$Y_{\text{Bohrung}} = G_{yx} \cdot X_{\text{Design}} + G_{yy} \cdot Y_{\text{Design}} + G_{yz} \quad [11]$$

Die numerischen Werte der Transformationsparameter G_{ij} berechnen sich aus den gemessenen Verzerrungsparametern.

Kern des Verfahrens, nach Anspruch 4, ist, daß nach dem Erfassen sämtlicher relevanter Verzerrungsparameter die, in idealen Design-Koordinaten vorliegenden, Bohrlochkoordinaten während der Bearbeitungsphase in das reale Tischkoordinatensystem transformiert werden, wobei die Variation der Parameter für Mehrfachnutzen auf einem Substrat berücksichtigt wird und somit der Aufwand für Speicherplatz und anfallende Rechen- und Vergleichsoperationen minimiert wird. Um einen wirtschaftlichen Betrieb einer Anlage entsprechend dieser Erfindung zu ermöglichen muß der Durchsatz maximal sein. D. h. die Bearbeitungszeit pro Bohrung soll minimal sein. Der zur Erstellung der Bohrung benötigte Materialabtrag ist abhängig von der Energiedichte auf der Substratoberfläche. Bei einem relativ schwachen Laser muß der Laserstrahl stark gebündelt sein um einen nennenswerten Abtrag zu erreichen, d. h. aber auch, daß der Durchmesser des Loches bei einmaligem Auslösen des Lasers klein ist in Relation zu dem vom Design geforderten Lochdurchmessers. Das zusammensetzen von Bearbeitungsschritten kosten sehr viel Zeit und läßt sich umgehen, wenn der Spotdurchmesser dem Bohrungsdurchmesser angepaßt werden kann. Die hier beschriebene Erfindung, Anspruch 6 und 7, kann die Spotgröße durch verändern der Stahlauflaufweite schnell variieren. In Fig. 4 ist der prinzi-

pielle Aufbau der Anordnung zur stufenweisen Veränderung des Strahldurchmessers skizziert, Anspruch 6. Die Anordnung besteht aus paarweise angeordneten Aufweitungslinsen, ihr Abstand entspricht der Summe ihrer Brennweiten, s. d. ein paralleles Strahlenbündel eine feste Aufweitung erfährt

$$F1/F2 = D1/D2 \quad [12]$$

wobei F1 – Brennweite der Eingangslinse
F2 – Brennweite der Ausgangslinse
D1 – Strahldurchmesser am Eingang
D2 – Strahldurchmesser am Ausgang.

Durch Umschalten des Strahlenganges stehen mehrere feste Aufweitungen zur Auswahl. Die Umschaltung erfolgt über die Galvanometerspiegel 35 und 36, die Hilfsspiegel sind erforderlich um eine parallele Montage der Aufweitungslinsenpaare zu ermöglichen. Um eine stufenlose Aufweitungsva-
riation zu ermöglichen wird ein weiteres optisches System eingesetzt, Fig. 5. Es besteht aus zwei aktiven Spiegelementen 41 und 42. Der einfallende parallel Strahl läuft nach Reflexion am konvexen Spiegel 42 auseinander. Nach Reflexion am konkaven Spiegel 41 ist er wieder parallel unter der Bedingung:

$$a = f3 + f4 \quad [13]$$

wobei a – Abstand der Spiegel
f3 – Brennweite konkaver Spiegel
f4 – Brennweite konvexer Spiegel
D3 – Strahldurchmesser vor Spiegeln
D4 – Strahldurchmesser nach variabler Aufweitung.

Für das Verhältnis der Strahldurchmesser vor und hinter dieser Anordnung gilt, analog zu [12].

$$f3/f4 = D3/D4 \quad [14]$$

Durch einen geeignet gewählten Einfallswinkel kann erreicht werden, daß der Laserstrahl mehrfach an dem Spiegelpaar reflektiert wird. Da der Strahldurchmesser bei jedem Durchlauf gemäß Gl. [14] erweitert wird potenziert sich die Gesamtwirkung auf den Laserstrahl. Die Gesamtaufweitung ergibt sich zu

$$D_{\text{aus}} = D_{\text{ein}} \cdot (f3/f4)^N \quad [15]$$

wobei
D_{aus} – Strahldurchmesser nach variabler Aufweitung
D_{ein} – Strahldurchmesser vor variabler Aufweitung
N – Anzahl der Mehrfachreflektionen

Wird z. B. N = 8 erreicht, genügt eine Aufweitung von ca. 10%, d. h. $D3/D4 = f3/f4 \approx 1.1$, um eine Gesamtaufweitung von Faktor 2 zu erreichen. In Verbindung mit der einer in Potenzen von 2 abgestuften Strahlaufweitung nach Anspruch 6, Fig. 4, ist eine stufenlose Wahl des Strahldurchmessers und damit der Spotgröße auf dem Substrat möglich. Die Umschaltung, d. h. die Änderung des Strahldurchmessers, erfolgt einerseits durch Verändern der Ansteuersignale für die Galvanometerdrehspiegel in der Anordnung nach Fig. 4, so daß der Laserstrahl über ein anderes Linsenpaar geführt wird. Zum anderen wird parallel dazu die Ansteuer-
spannung des aktiven Spiegelpaares geändert, Fig. 5.

Die Brennweite eines aktiven Spiegels hängt von der angelegten Spannung sowie einigen Materialfaktoren und den gewählten Betriebsbedingungen ab. Um eine stabile und insbesondere reproduzierbare Arbeitsweise zu erhalten kontrolliert für diese Erfindung ein Regelkreis die Spannungs-

nungen der aktiven Spiegel, Anspruch 8. In Fig. 6 ist der zur Vermessung der Strahlaufweitung durch die aktiven Spiegel verwendete Strahlengang gezeigt. Ausgehen von einer Lichtquelle, z. B. ein Halbleiterlaser 43, wird mit Hilfe einer Lochblende 44 und einer Kolimatorlinse 45 und einer Kreisblende 46 ein paralleler Lichtbündel erzeugt. Dieses Lichtbündel wird durch den Strahlteiler 47 in einen Referenzstrahl und einen Meßstrahl aufgeteilt. Der Meßstrahl wird durch Spiegel 47 parallel zum Ausgangsstrahl über die aktiven Spiegel 41 und 42 geführt. Er durchläuft die Spiegelanordnung zweimal da er beim Austritt durch zwei Hilfsspiegel 49 und 50 zurück geschickt wird. Sind die aktiven Spiegel korrekt angesteuert, verläßt der Meßstrahl diese parallel zur Einfallssache und um einen definierten Abstand versetzt. Diese beiden Parameter werden durch Abbilden des Meß- und Referenzstrahls auf zwei Sensoren erfaßt. Durch einen Strahlteiler 52 werden beide Strahlen aufgeteilt. Beide Strahlen werden einmal über den Hilfsspiegel 51 und der Kolimatorlinse 53 auf einem Zeilensensor 57 als Punkte abgebildet. Ist der Meßstrahl nicht mehr parallel zum Referenzstrahl sind die zwei Bildpunkte auf dem Zeilensensor nicht deckungsgleich. Die durch den Strahlteiler 52 ausgekoppelten Strahlen beleuchten eine halbkreisförmige Blende 54. Diese Blende wird mittels Linse 55 auf einem weiteren Zeilensensor 56 abgebildet. Aus dem Profil des Ausgangssignals dieses Sensors läßt sich der parallel Versatz von Meß- und Referenzstrahl bestimmen. Die Meßsignale werden aufbereitet und dienen dem Rechner 58 als Istwertsignale mit deren Hilfe die, für die geforderten Sollwerte entsprechende, Signale für die Ansteuerungselektronik errechnet werden.

Den Abschluß der Beschreibung dieser Erfindung soll die Darstellung der Strahlableitungseinheit bilden. Die hier beschriebene Erfindung, Anspruch 2 & 3, erfordert eine schnell und genaue Strahlableitung. Hierzu sind die im folgenden beschriebene Verfahren geeignet.

Um die für diese Erfindung notwendige Strahlableitung durchzuführen wird der aufgeweitete Laserstrahl über zwei, senkrecht zueinander angeordneten Galvanometerspiegel, Anspruch 9, geführt, Fig. 9. Die die Spiegelposition wiedergebenden Istwertsignale werden in der Ablenksteuerung 14 dazu verwendet die Spiegel 69 und 71 mit Hilfe des Galvanometerantriebs 68 bzw. 70 so auszurichten, daß der statische Positionierfehler, Anspruch 2, kompensiert wird bzw. die Spiegel so nachzuführen, daß die dynamischen Positionierfehler, Anspruch 3, verschwinden. Galvanometerspiegel erlauben einen großen Ablenkbereich benötigen jedoch auf Grund ihrer Bauform einen großen Abstand zum Schreibobjekt 4. Kann mit einem kleineren Ablenkwinkel gearbeitet werden, so eignen sich Piezospiegel, Anspruch 10, zur Strahlableitung, Fig. 7. Der Piezoantrieb 60 bzw. 62 verkippt die Scan-Spiegel 61 bzw. 63 um die benötigte Strahlableitung zu erhalten. Bei Verwendung von 2-Achsen Piezospiegeln läßt sich ein idealer telezentrischer Strahlengang verwirklichen.

Obwohl Piezospiegel bereits deutlich schneller positionieren ergibt sich immer noch eine deutliche Verzögerung zwischen Ausgabe der geforderten Sollposition durch den Rechner und Erreichen der entsprechenden Istposition durch den Spiegel. Eine deutlich geringere Positionierzeit wird erreicht, wenn die Strahlableitung durch akusto-optische Ablenker bewirkt wird, Anspruch 11, Fig. 8. Zur Ablenkung wird im Kristall 64 bzw. 66 durch eine akustische Welle ein Beugungsgitter erzeugt. Der Ablenkwinkel ist proportional zur räumlichen Dichte des Beugungsgitters und läßt sich daher stufenlos durch ändern der Frequenz, ca. 100–200 MHz, des Ansteuersignals, eingespeist über Transducer 65 bzw. 67, einstellen. Da bei diesem Verfahren nur die Füllzeit für

das Kristall, ca. 30 μ s bei einer Kristallgröße von ca. 20 mm und einer typischen Schallgeschwindigkeit von ca. 600 m/s, eine Zeitbeschränkung darstellt ist diese Vorrichtung optimal geeignet um eine schnelle und präzise Strahlablenkung zu gewährleisten.

Bezugszeichen

Figur 1:

- 1 Laser-Lichtquelle
- 2 Variable Strahlaufweitung
- 3 Ablenkeinheit
- 4 Objektiv
- 5 Substrat
- 6 XY-Tisch
- 7 X-Interferometerspiegel
- 8 Antriebseinheit für X-Richtung
- 9 X-Interferometer
- 10 Y-Interferometerspiegel
- 11 Y-Interferometer
- 12 Antriebseinheit für Y-Richtung
- 13 XY-Tischsteuerung
- 14 Steuerung der Ablenkeinheit
- 15 Elektronische Kamera inklusive Objekt und Beleuchtung
- 16 Rechner
- 17 Ansteuerung für variable Strahlaufweitung
- 18 Ansteuerung Laser
- 19 Heterogener Systembus
- 20 Ausgangsstrahl Laser
- 21 Strahl nach variabler Aufweitung
- 22 Scannender Strahl

Fig. 2:

- 23 Hauptebene des Objektivs
- 24 Einfallswinkel
- 25 Auslenkung
- 26 Durchmesser Eintrittsstrahl
- 27 Spotgröße
- 28 Brennweite des Objektivs

Fig. 3:

- 29 Lichtquelle
- 30 Beleuchtungsstrahlengang
- 31 Objektiv
- 32 Elektronische Kamera
- 33 Feldlinse
- 34 Bildverarbeitungsrechner

Fig. 4:

- 35 Eingangs-Galvanometer-Drehspiegel
- 36 Ausgangs-Galvanometer-Drehspiegel
- 37 Hilfsspiegel E
- 38 Hilfsspiegel A
- 39 Aufweitungslinse E
- 40 Aufweitungslinse A

Fig. 5:

- 41 Aktiver Konkavspiegel
- 42 Aktiver Konvexspiegel

Fig. 6:

- 43 Lichtquelle, z. B. Halbleiterlaser
- 44 Lochblende
- 45 Kollimatorlinse 1
- 46 Kreisblende
- 47 Strahlteiler 30%
- 48 45°-Spiegel 1
- 49 45°-Spiegel 2
- 50 45°-Spiegel 3
- 51 45°-Spiegel 4
- 52 Strahlteiler 50%
- 53 Kollimatorlinse 2
- 54 Halbkreisblende

55 Abbildungslinse

56 Positionsdetektor 1, z. B. CCD-Zeile

57 Positionsdetektor 2, z. B. CCD-Zeile

58 Meßelektronik & Rechner

59 Ansteuerelektronik für aktive Spiegel

Fig. 7: Ablenkeinheit auf Basis von Piezo-Scanner

60 Piezo-Scanner für X-Achse

61 Scan-Spiegel X

62 Piezo-Scanner für Y-Achse

10 63 Scan-Spiegel Y

Fig. 8: Ablenkeinheit auf Basis von akusto-optischer Ablenkern

64 AOD-Kristall zur X-Ablenkung

65 Eintrittsfläche der akustischen Welle

15 66 AOD-Kristall zur Y-Ablenkung

67 Eintrittsfläche der akustischen Welle

Fig. 9: Ablenkeinheit auf Basis von Galvanometer-Scannern

68 Galvanometer-Scanner für X-Achse

20 69 Scan-Spiegel

70 Galvanometer-Scanner für Y-Achse

71 Scan-Spiegel

Fig. 10:

72 ladbarer Vor-/Rückwärtszähler

25 73 Speicher

74 Digital/Analog-Wandler

75 Zugriffssteuerung

76 Sollwertspannung Ablenkeinheit

77 Interferometer Signale

30 78 Adressbus

79 Datenbus

Patentansprüche

- 35 1. Verfahren zur Erzeugung von Mikrobohrungen in einem mehrlagigen Substrat (5), insbesondere einem Leiterplattensubstrat, welches mittels eines XY-Tisches (6) unter einer Schreiboptik (4) bewegt wird, mittels welcher ein Spot einer Lichtquelle (1), insbesondere eines Lasers, erzeugt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß gleichzeitig mit den Bearbeitungspositionen entsprechend die Position des Spots innerhalb eines Arbeitsfeldes durch elektronisch gesteuerte, bewegliche Spiegel verändert wird, daß insbesondere
- 40 mittels eines Interferometers (9, 11) die Bestimmung der Substratposition durchgeführt wird und daß mittels eines geeignet ausgerüsteten Rechnersystems (16) die der Substratposition entsprechenden Signale zu einer Ist-Position des Tischsystems verarbeitet werden, wobei dem Rechnersystem (16) vorzugsweise sämtliche Bohrlochkoordinaten sowie Zusatzinformationen, wie Bohrlochdurchmesser, insbesondere in Tabellenform, zur Verfügung gestellt werden.
- 45 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bearbeitung einzelner Felder das Substrat (5) unter der Schreiboptik (2) positioniert wird und daß statistische Positionsfehler in beiden Bewegungsachsen durch Nachführen des Spots mittels einer Strahlablenkeinheit ausgeglichen werden.
- 50 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat während der Bearbeitung kontinuierlich bewegt wird und der resultierende dynamische Positionsfehler in beiden Bewegungsachsen des Substrats (5) durch Nachführen des Spots mittels der Strahlablenkeinheit ausgeglichen wird.
- 55 4. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 oder nach Anspruch 1 und 3, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bearbeitung einzelner Felder oder des kontinuierlich be-

wegten Substrats (5) unter der Schreiboptik (4) die Bohrlochskollkoordinaten während der Bearbeitung entsprechend einer ausgemessenen Substratverzerrung korrigiert werden.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mittels des Rechnersystems (16) sämtliche Koordinatenberechnungen in den Zähl-einheiten des Systems zur Bestimmung der Substratposition, insbesondere des Interferometers (9, 11) durchgeführt werden, wobei die erforderlichen Umskalierungsoperationen zur Ansteuerung der Strahlpositioniereinheit in der Schreiboptik (4) bevorzugt durch zugeordnete Speichertabellen erfolgen.

6. Verfahren, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mittels der Schreiboptik (4) der Durchmesser des Spots auf dem zu bearbeitenden Substrat (5) derart schnell verändert wird, daß unterschiedliche Bohrlochdurchmesser in einem Arbeitsgang und/oder mit einem einzigen Laserschuss, erstellt werden, ohne daß ein "nibbling"-Verfahren anzuwenden ist, und/oder daß in das Substrat (5) Bohrungen mit unterschiedlichen oder variierenden Durchmessern eingebracht werden, wobei entsprechend dem geforderten Bohrlochdurchmesser der Spotdurchmesser des Lichtstrahls vorgegeben wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in der Schreiboptik (4) aktive Spiegelemente zur Variation des Strahldurchmessers enthalten sind, und/oder daß die Brennweite der genannten Spiegel durch Anlegen einer Spannung geändert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die aktiven Spiegelemente, insbesondere mittels eines Hilfsstrahles, permanent optisch vermessen und/oder dementsprechend geregelt werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels galvanometergesteuerter Drehspiegel (69, 71) erreicht wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels piezogetriebener und verstellbarer Spiegel (69, 71) erreicht wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die variable Strahlpositionierung der Schreiboptik mittels akusto-optischer Deflektoren (64, 66) erreicht wird.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

50

55

60

65

Fig. 1

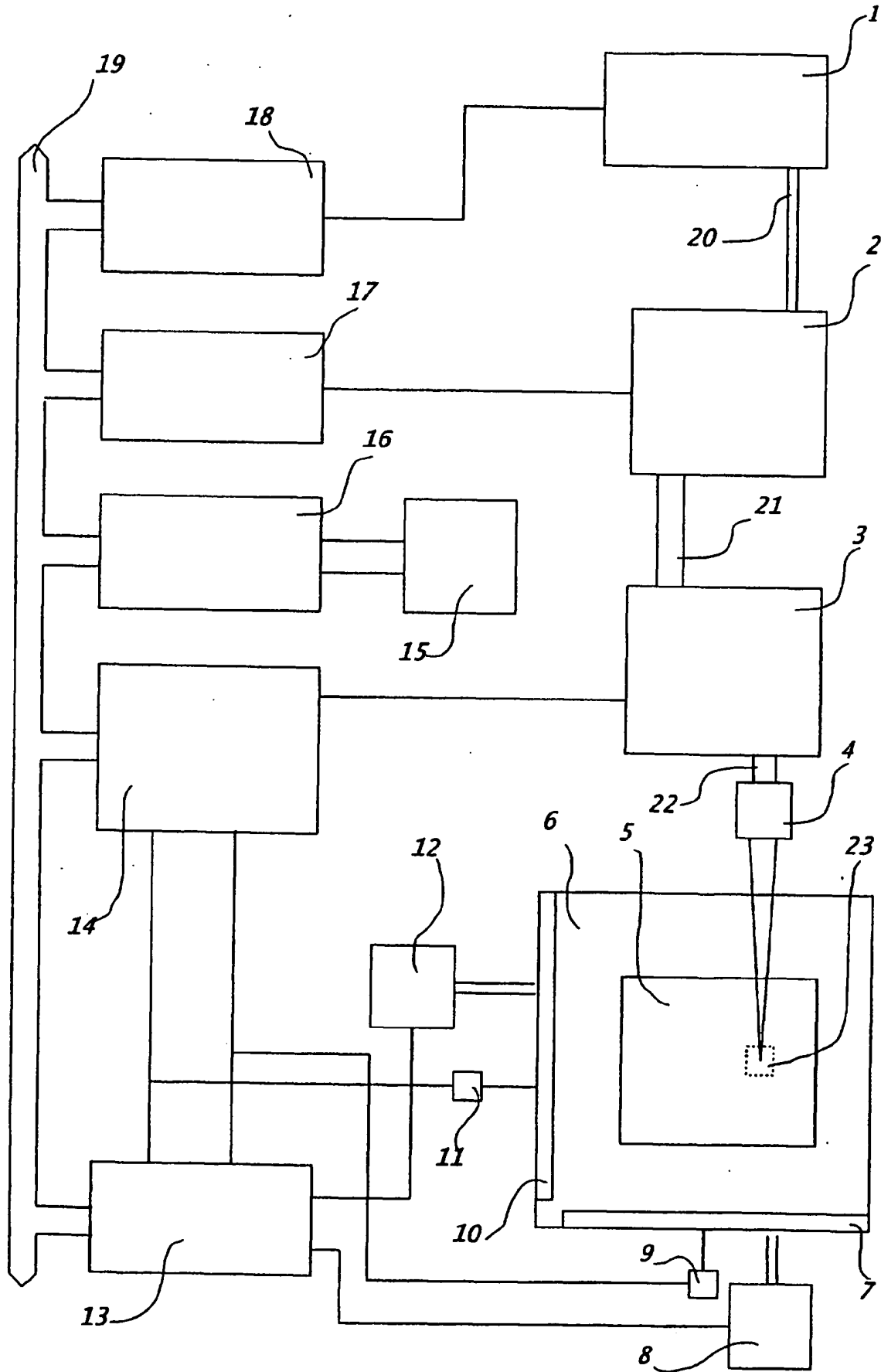


Fig. 2

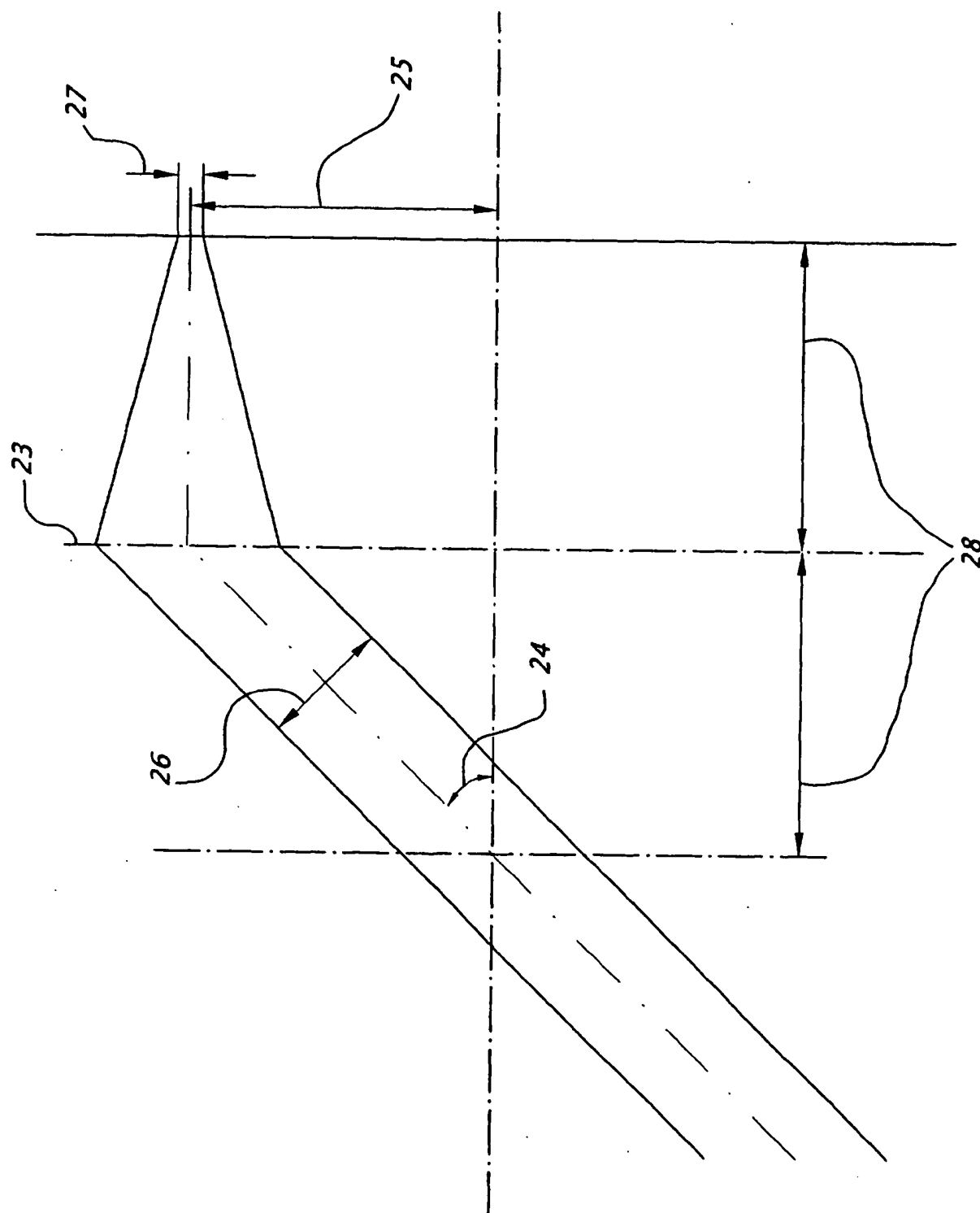


Fig. 3

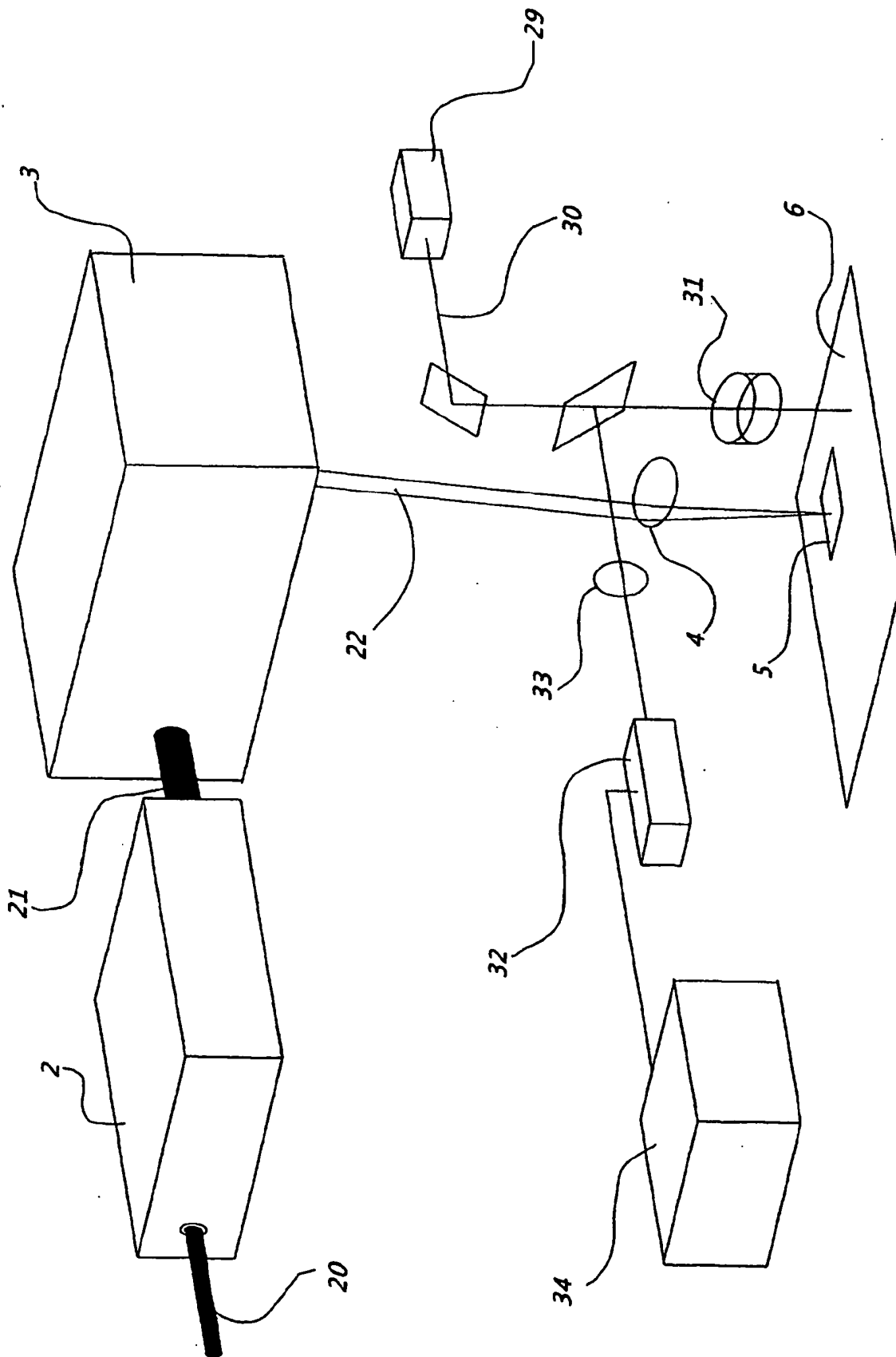


Fig. 4

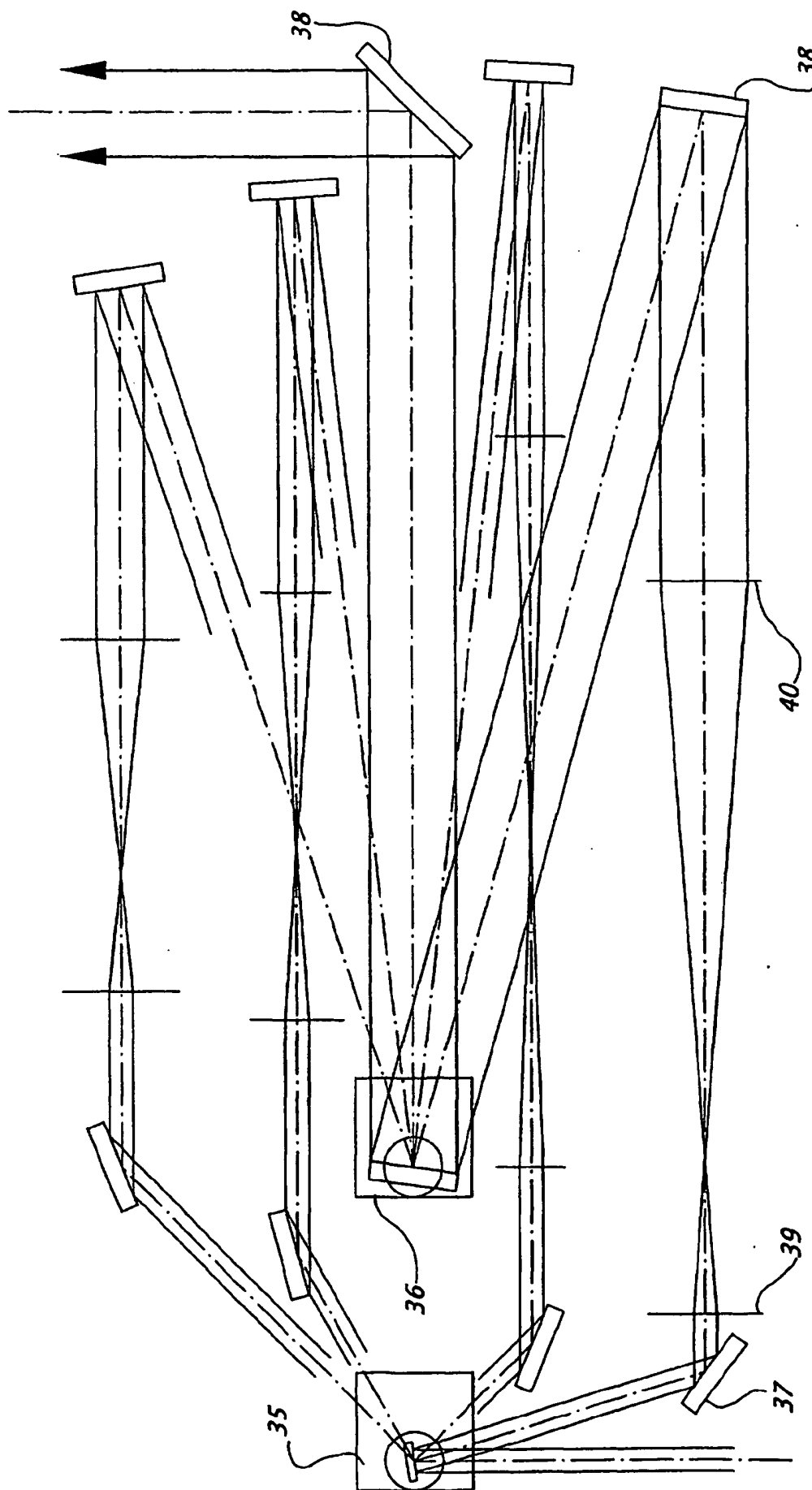


Fig. 5

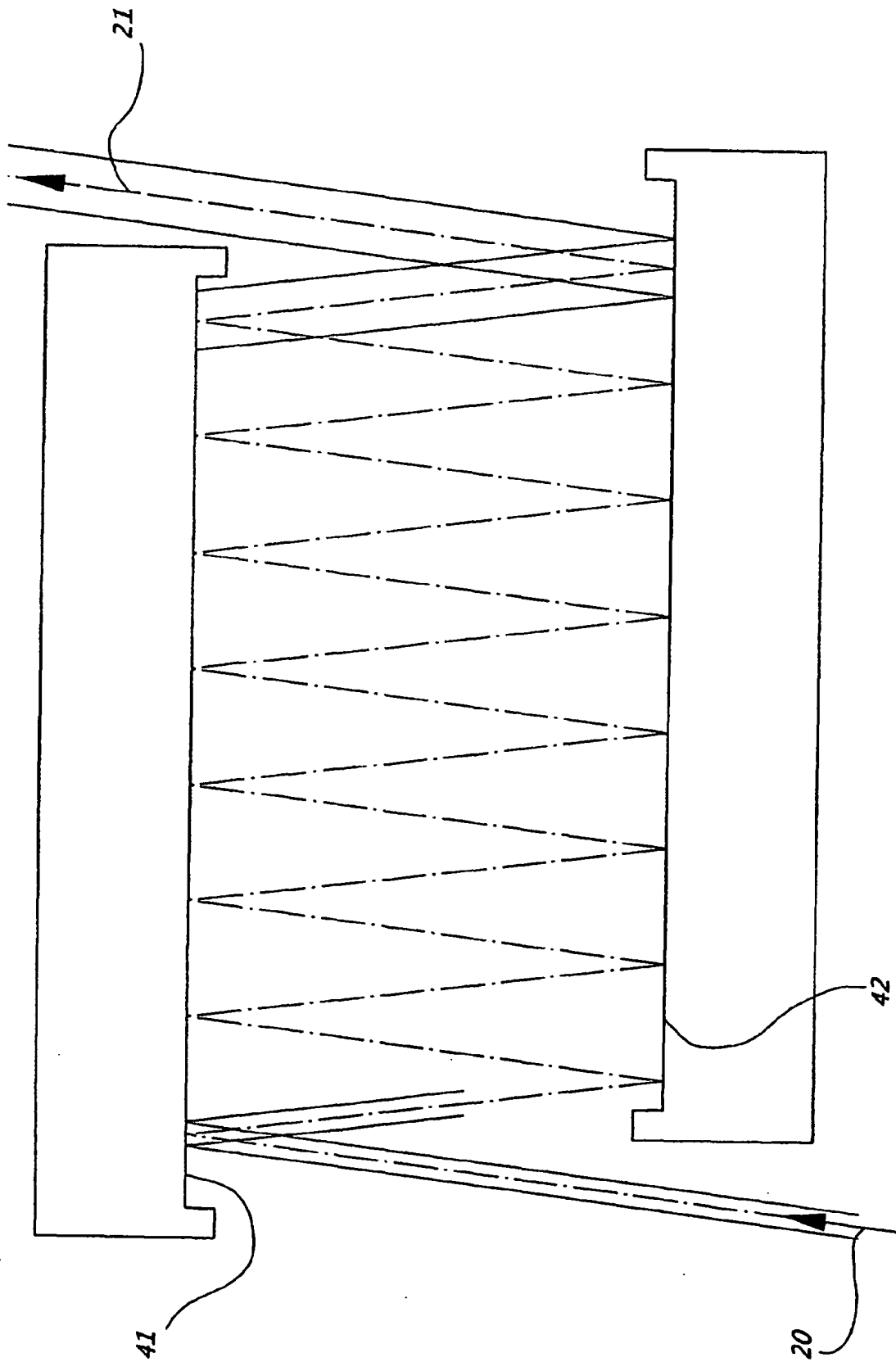


Fig. 6

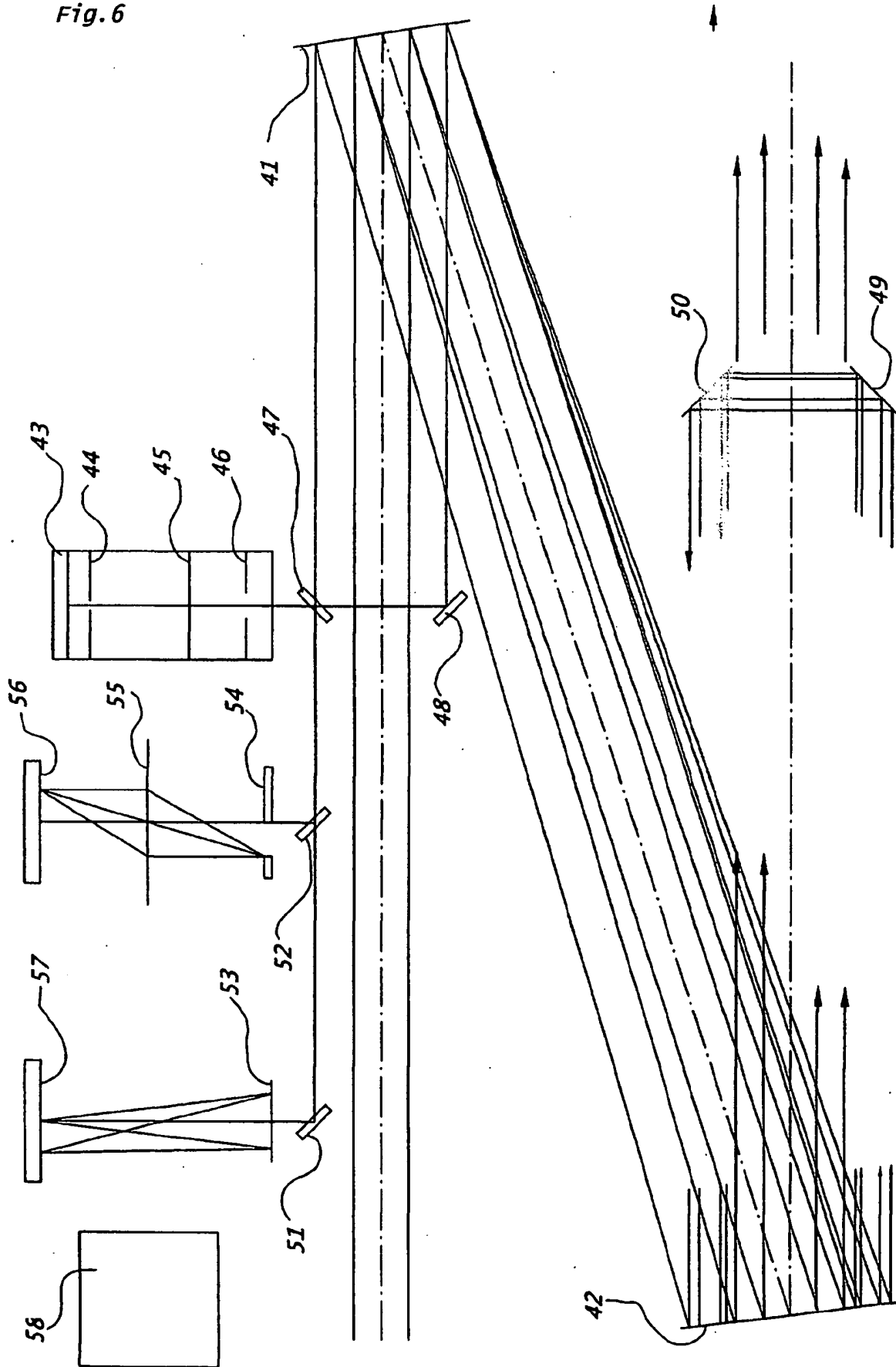


Fig. 7

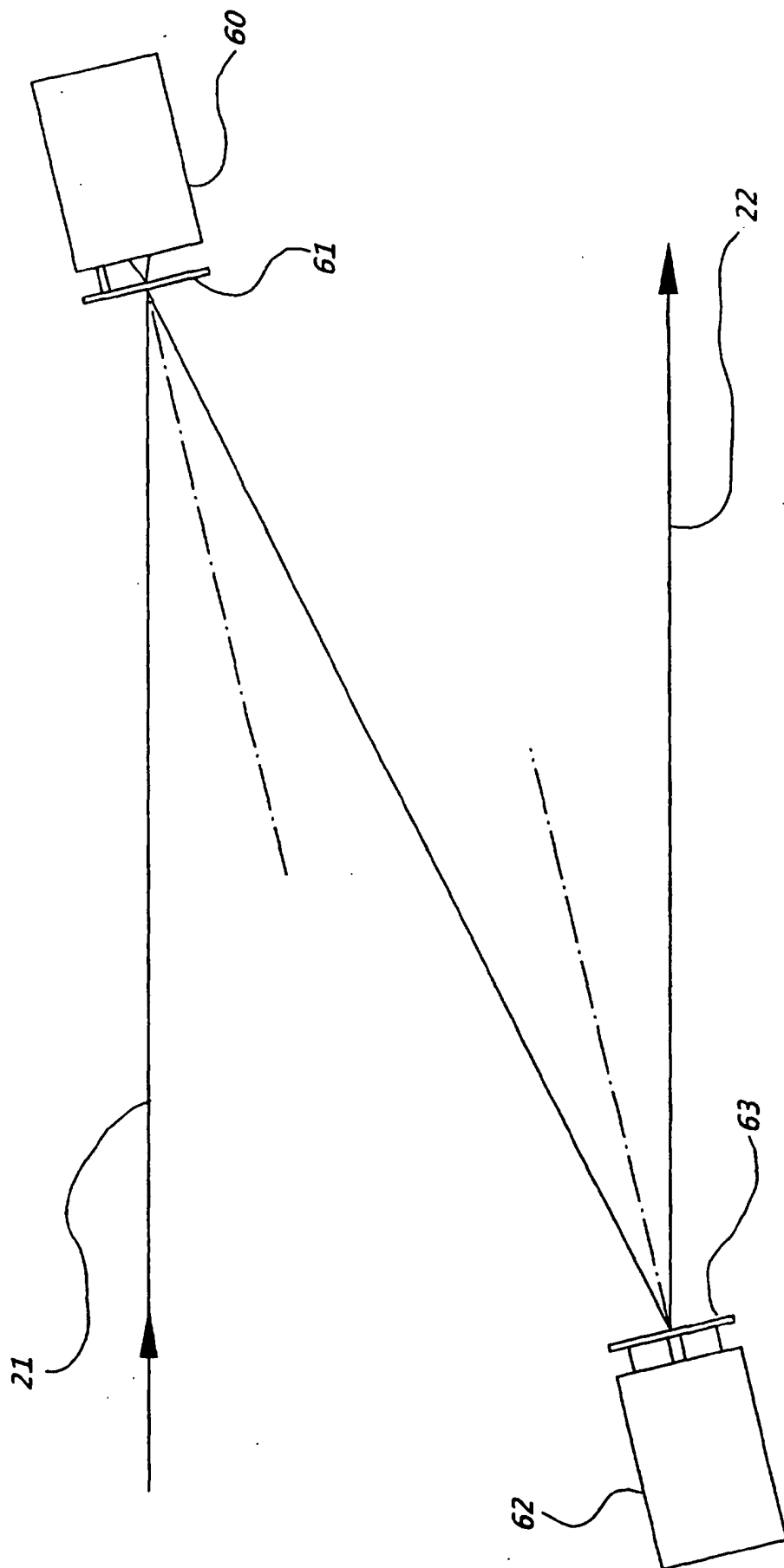


Fig. 8

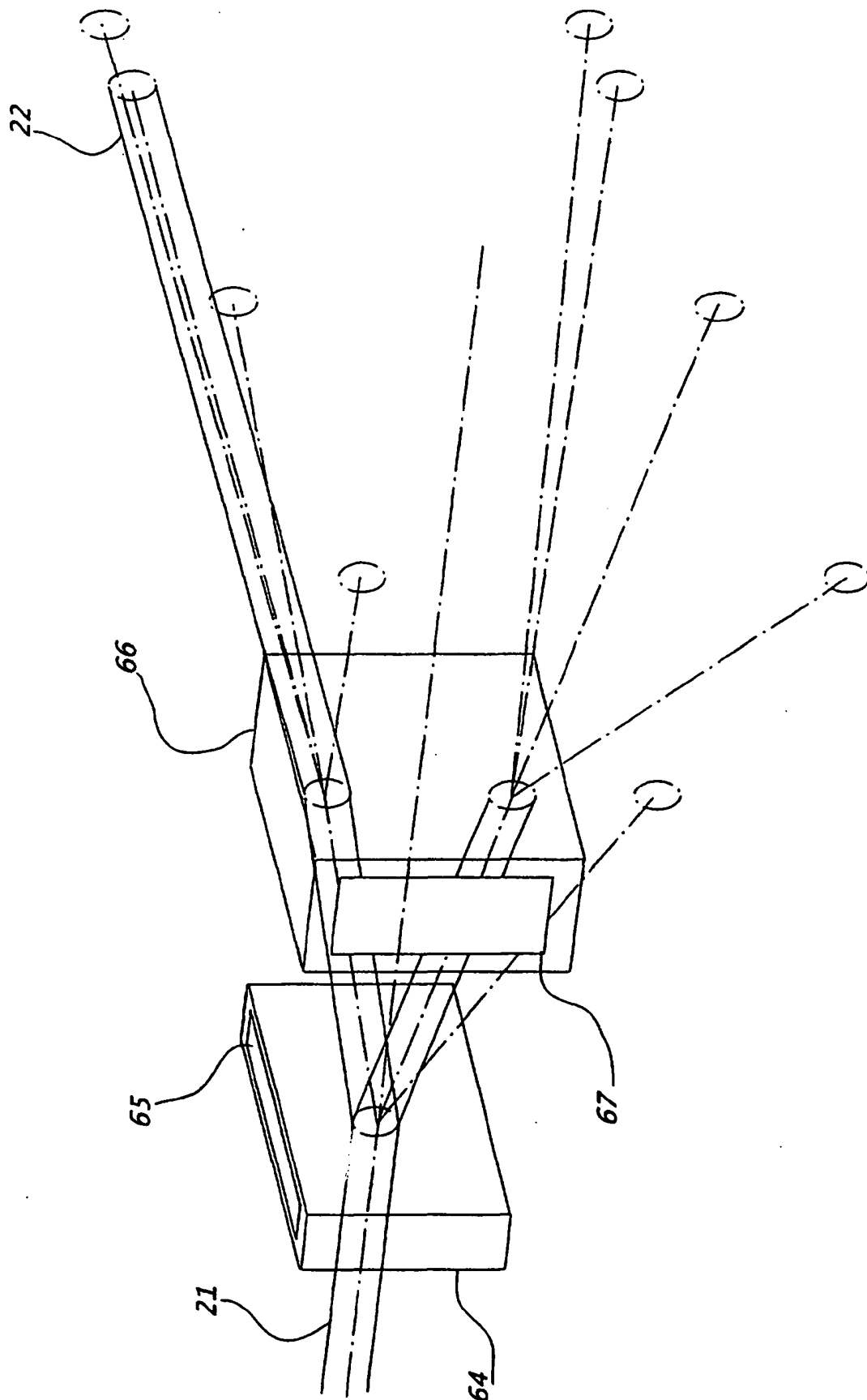


Fig. 9

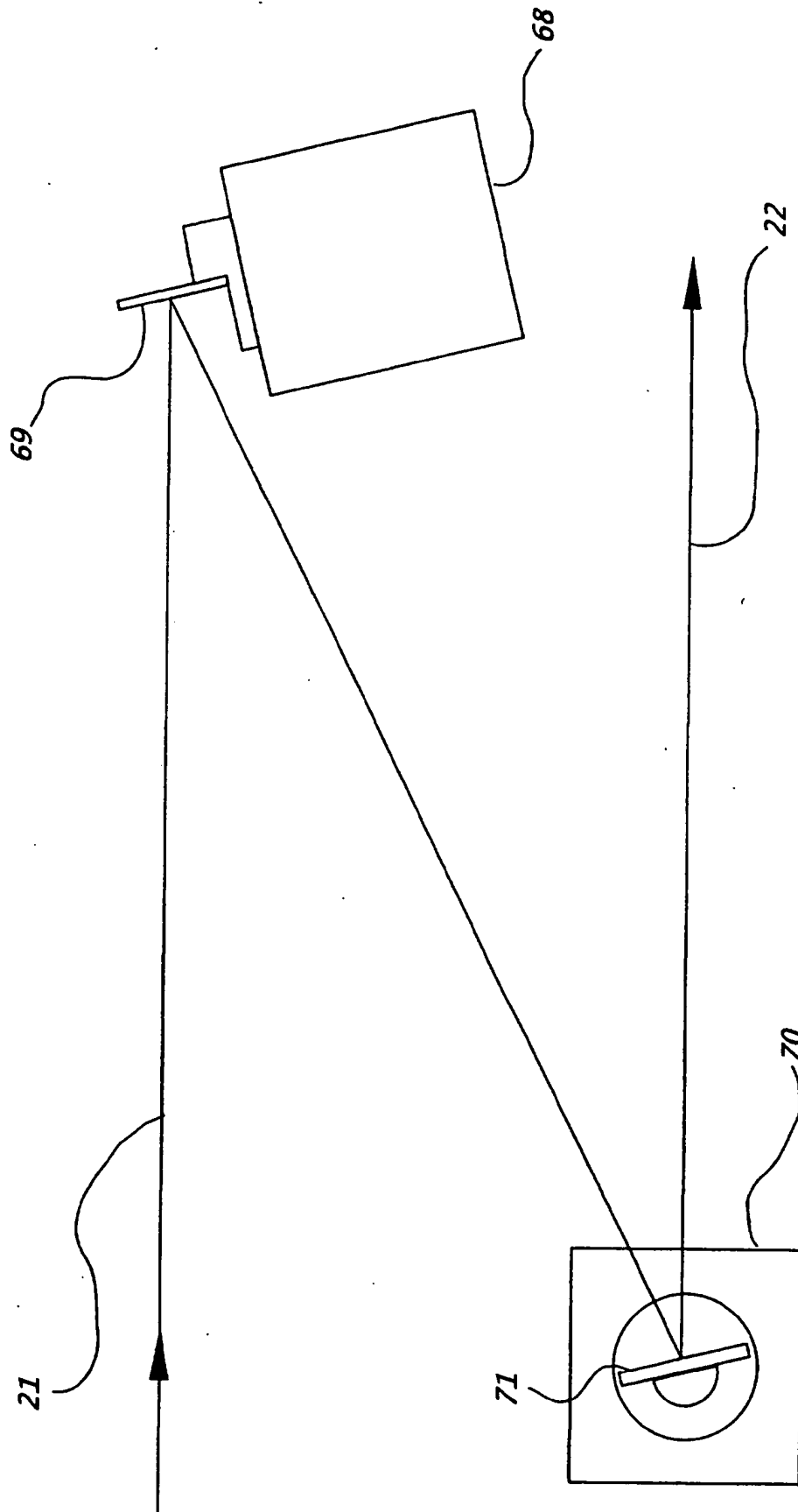


Fig.10

